

Solarthermische Wasserstoffherstellung mit Hilfe von Metalloxidzyklen

Martin Roeb

20. Kölner Sonnenkolloquium 2017

06. Juli 2017



Knowledge for Tomorrow

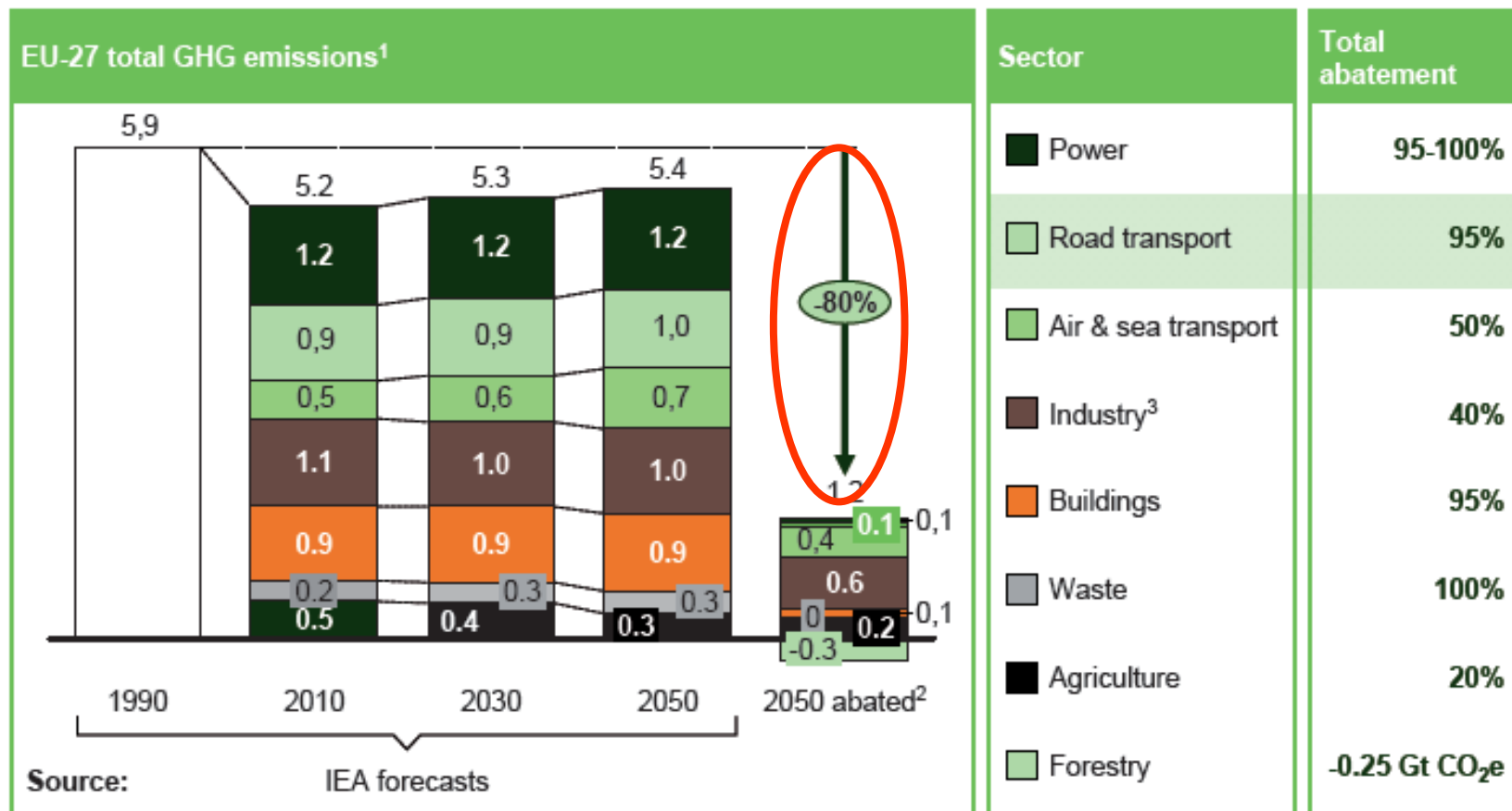


Inhalt

- Internationale Zielsetzungen für eine Dekarbonisierung der Energiewirtschaft
- Solare Redox-Chemie: Anwendungen
- Solare Wasserstoffproduktion
- Solare Sauerstoffpumpe
- Zusammenfassung



Development of EU GHG emissions [Gt CO₂e]



1 Large efficiency improvements are already included in the baseline based on the International Energy Agency, World Energy Outlook 2009, especially for industry

2 Abatement estimates within sector based on Global GHG Cost Curve

3 CCS applied to 50% of large industry (cement, chemistry, iron and steel, petroleum and gas, not applied to other industries)

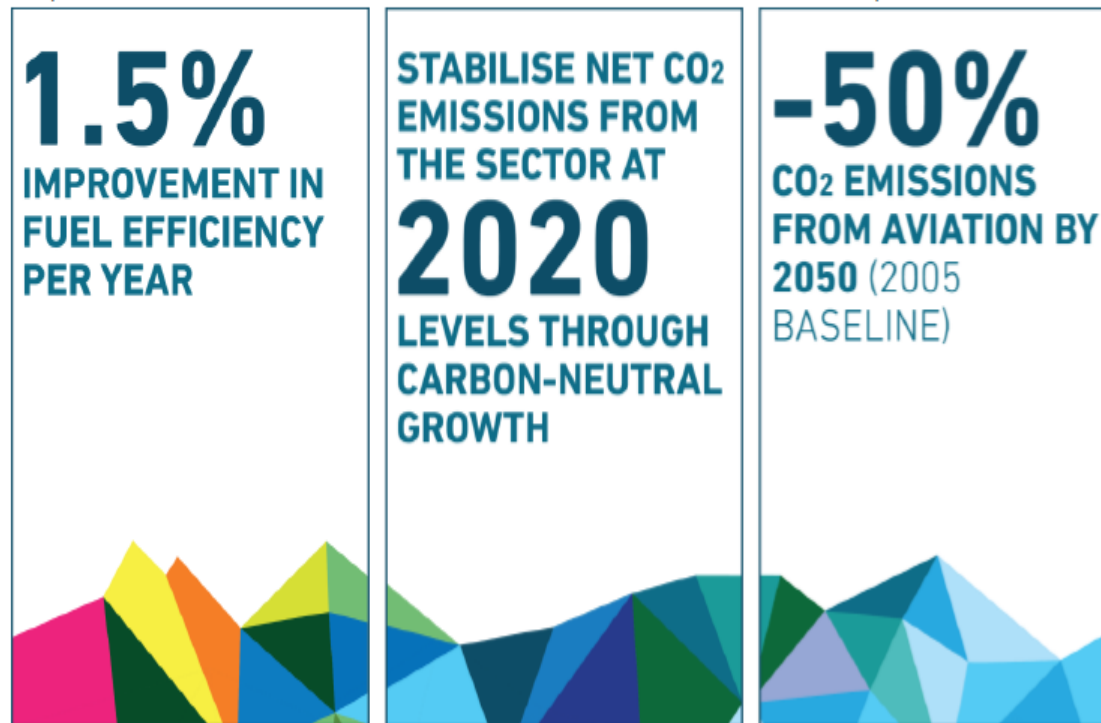


Ambitious goals of IATA



Global aviation industry targets

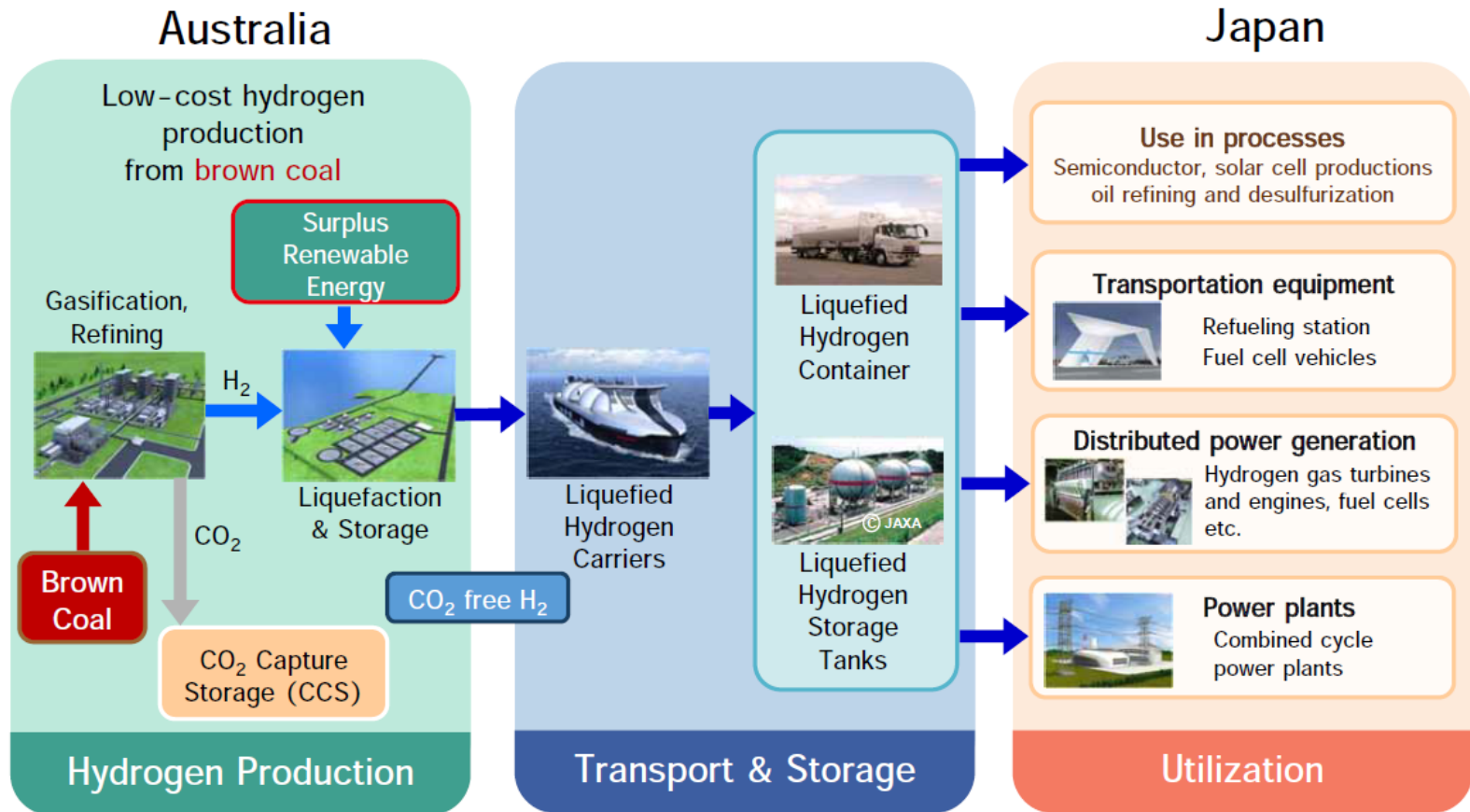
(ACI, CANSO, IATA, IBAC, ICCAIA commitment in 2009)



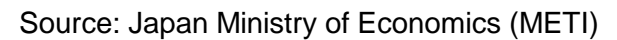
Europe's vision on the future hydrogen economy (source FCH-JU)



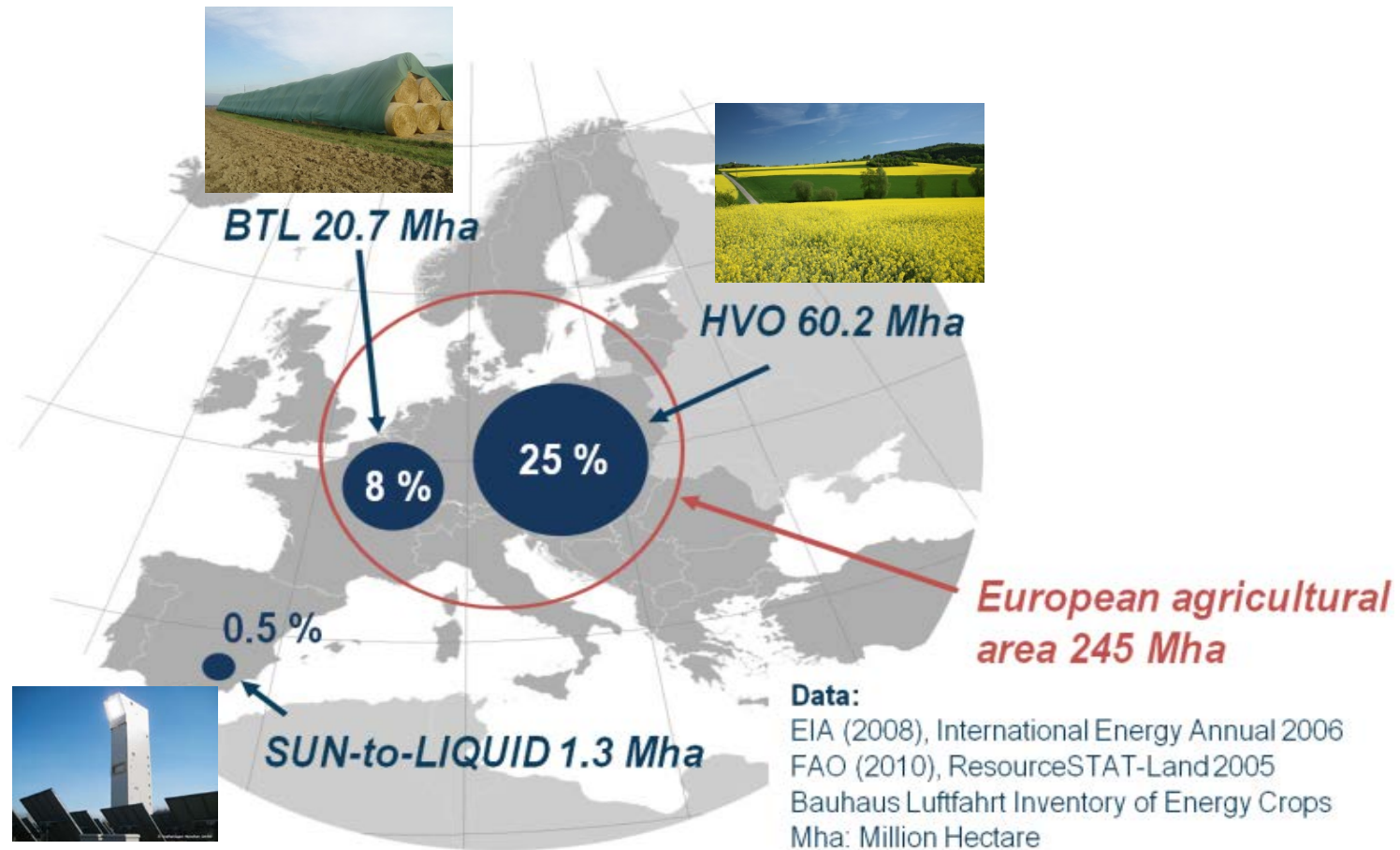
Concept of a CO₂-free Hydrogen Supply for Japan



Source: Kawasaki Heavy Ind.



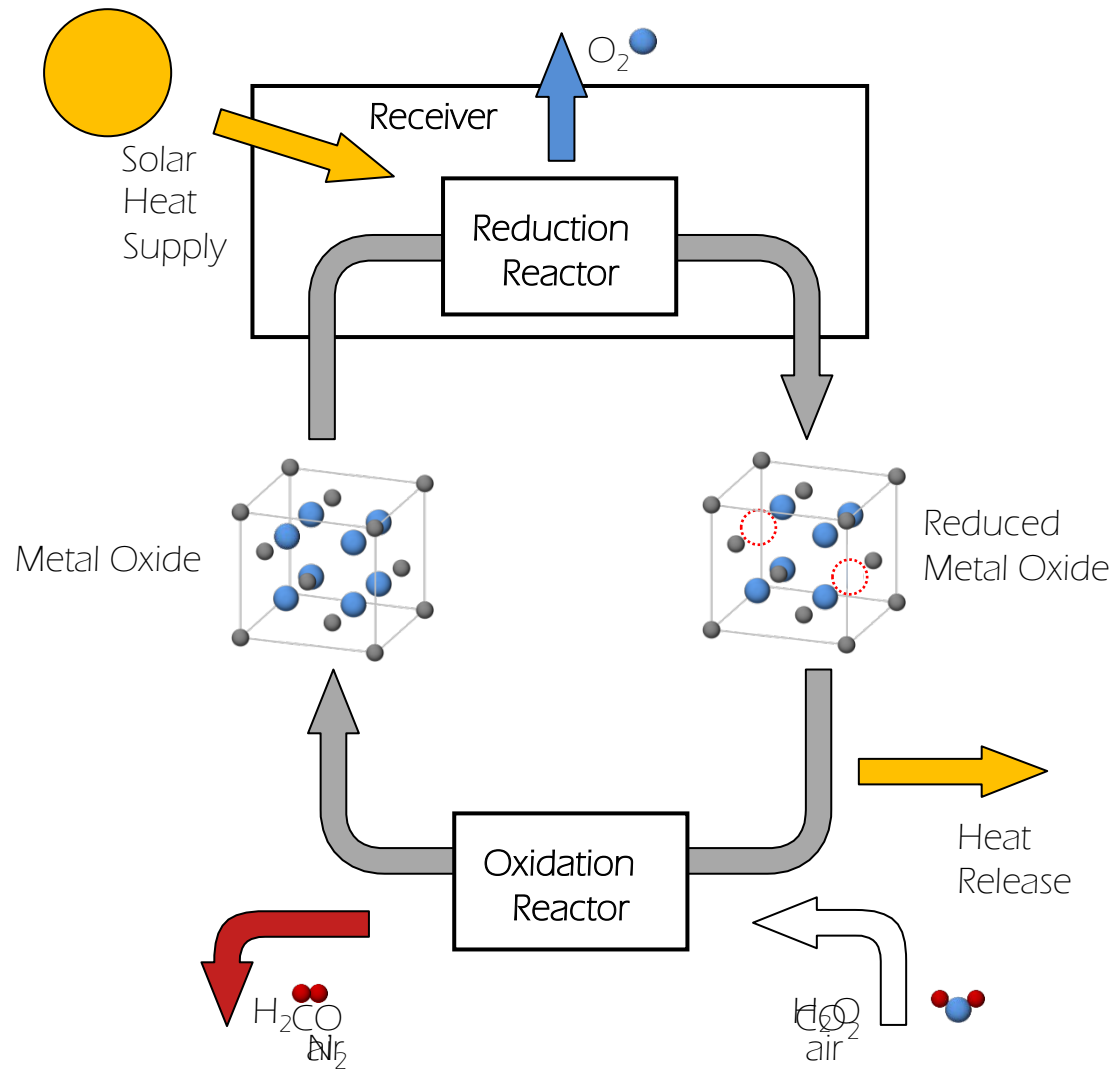
Fraction of E27 agricultural surface to provide European Kerosene demand of 2005:



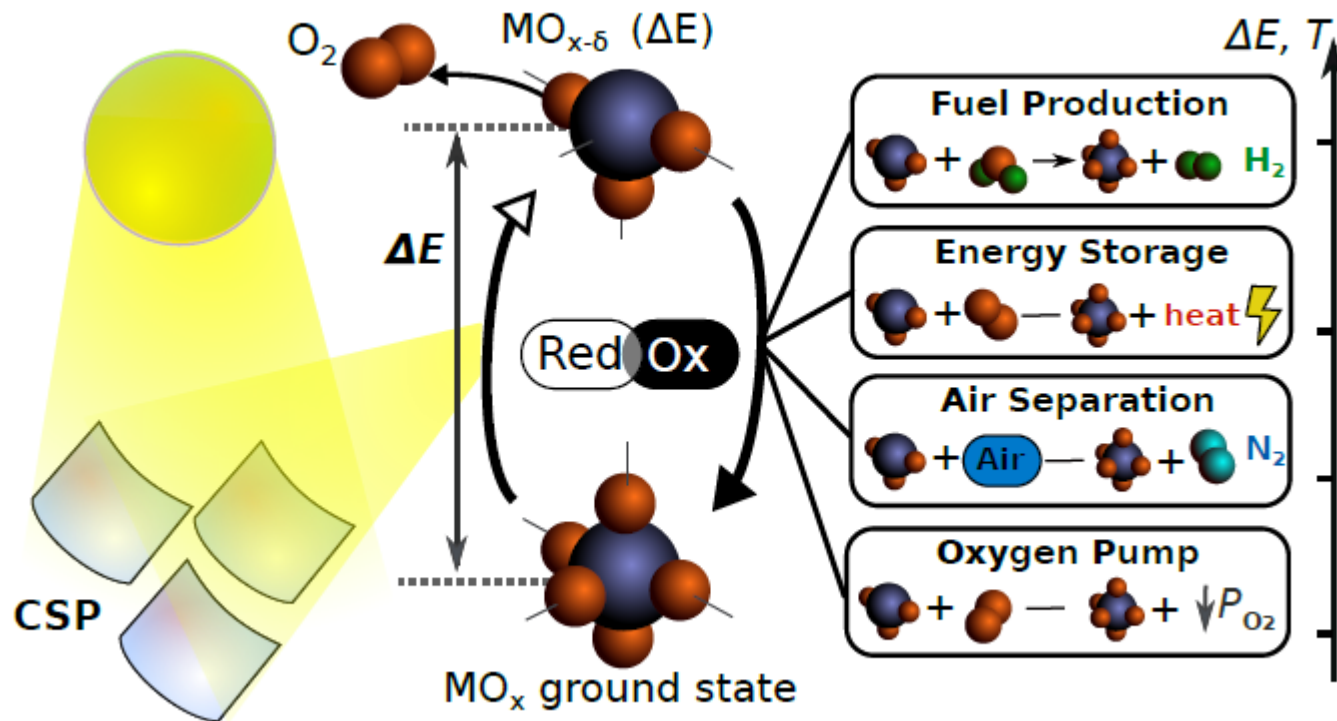
Solare Redox-Reaktionen mit Metalloxiden



Thermochemische Redox-Kreisprozesse



Optionen für Solare Redox-Reaktionen

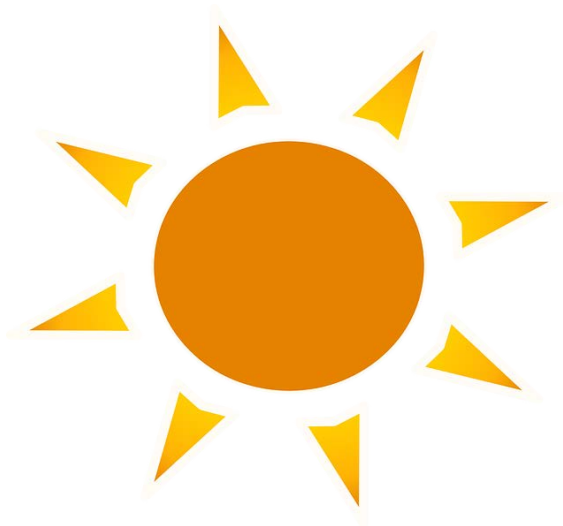


Solare Brennstoffherzeugung



Vom Rohstoff zum Brennstoff

Carbon dioxide (CO_2)
Water (H_2O)



Synthesis gas ($\text{H}_2 + \text{CO}$)



e.g. Fischer-Tropsch-Plant

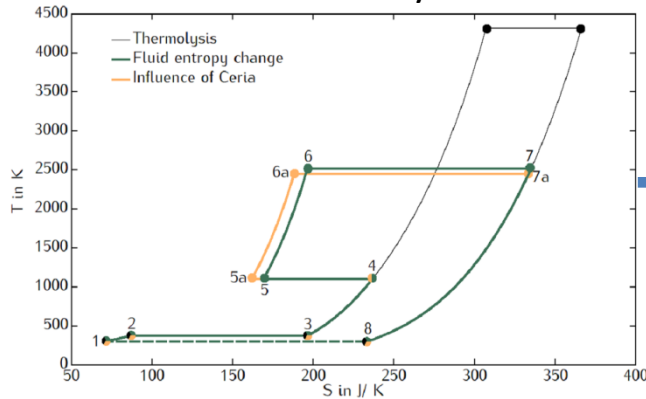


Sustainable synthetic petrol,
diesel, kerosene
hydrogen, methanol,
(fertilisers, polymers)...

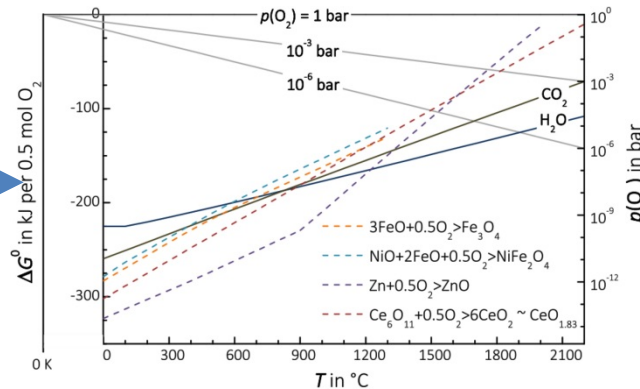


Von der Grundlage zur Anwendung

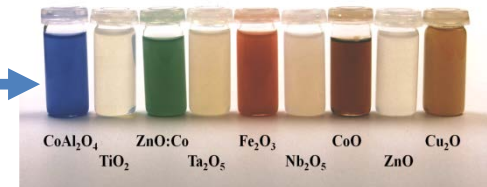
Prozessthermodynamik



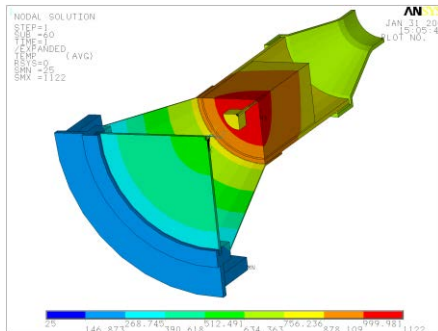
Materialthermodynamik



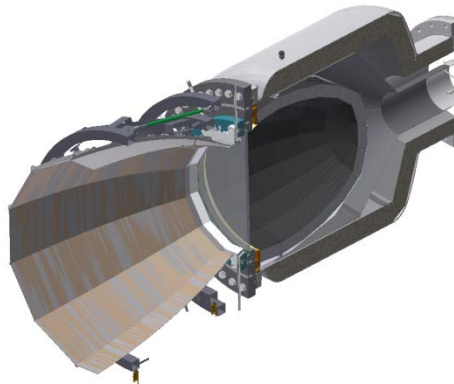
Materialentwicklung



Simulation



Design



Pilot-Anlage



Lange, Roeb, *Energy*, Jan. 2014; Roeb, Sattler, *Science*, Aug. 2013; Roeb, Neises, *Energy Environ. Science*, Sep. 2011; Roeb, Müller-Steinhagen, *Science*, Aug. 2010 etc.



Vom Watt zum Megawatt

EU FP5 HYDROSOL

Labor 100 W



Sonnenofen 5 kW



Sonnenofen 10 kW

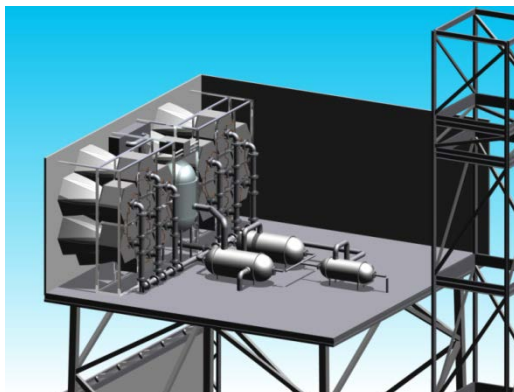


EU FP6 HYDROSOL-2

2017



Solarturm ca.1 MW



Solarturm 100 kW

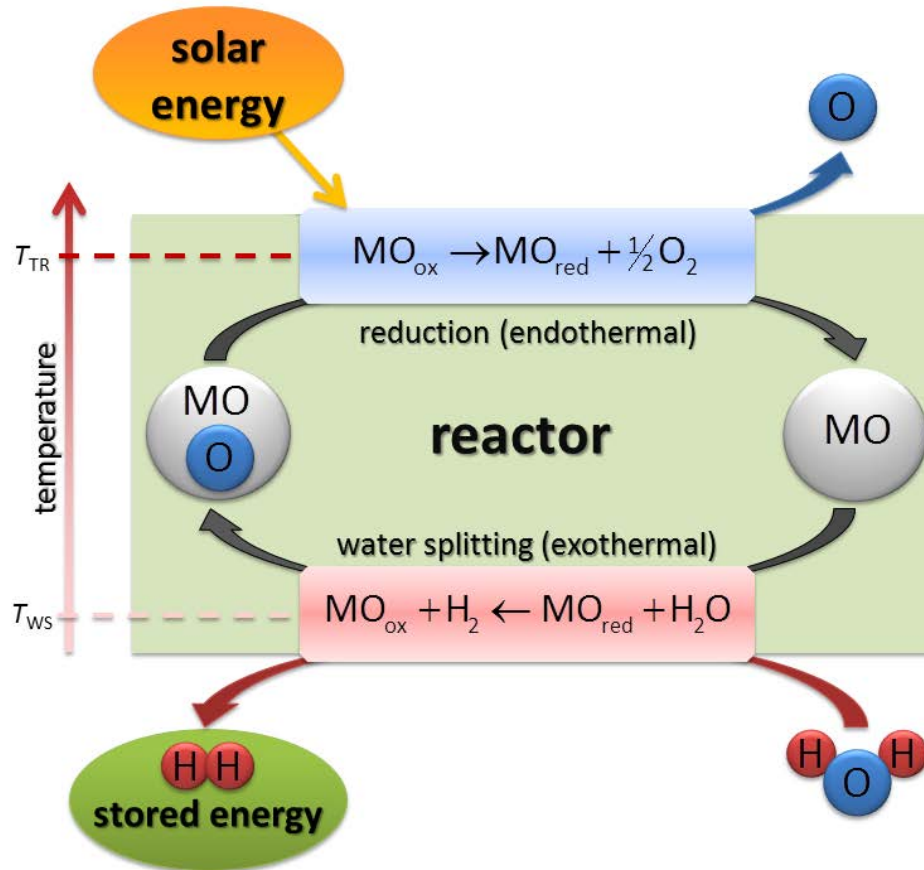


FP7 FCH-JU HYDROSOL_PLANT

FP7 FCH-JU HYDROSOL-3D



Prinzip der solar-thermochemischen Wasserspaltung

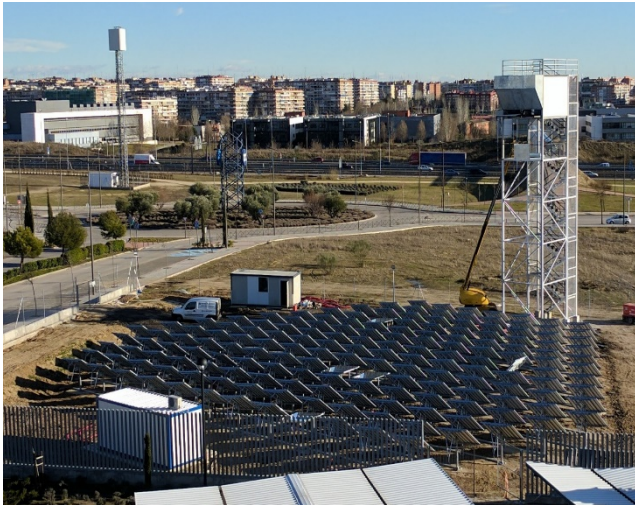


MO = ferrites, ceria, perovskites...



Projekte zur thermochemischen Wasser- und CO₂ Spaltung

EU: Sun2Liquid



Mostoles, Spain

US-DOE: STCH



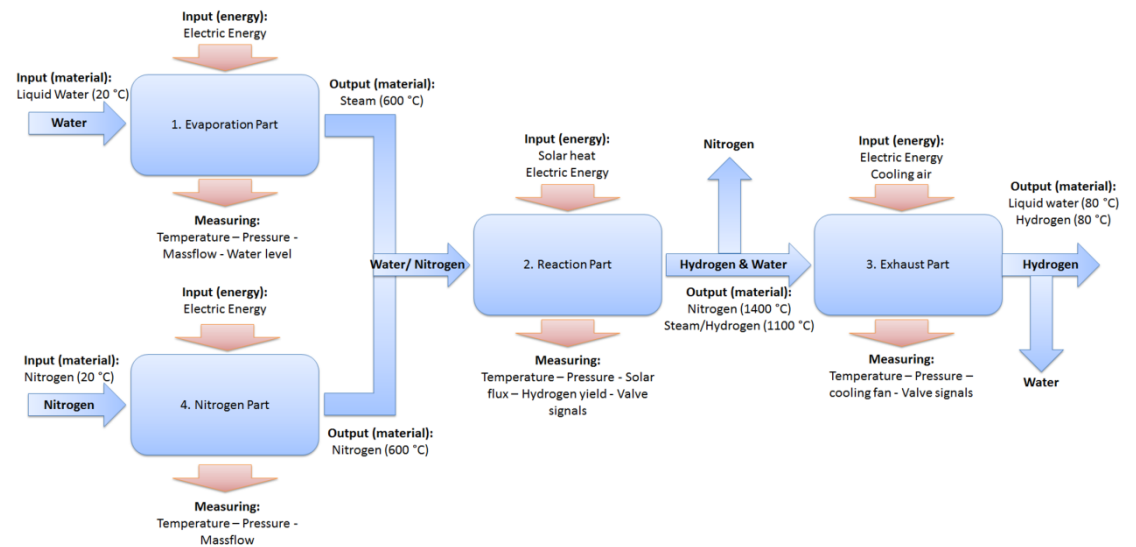
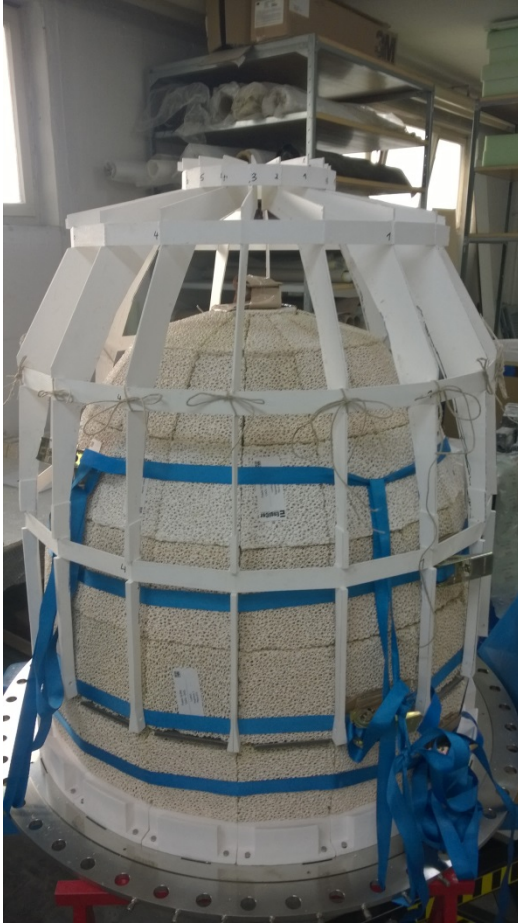
Albuquerque, USA



Projekt mHLS

und

Projekt ASTOR



HYDROSOL_PLANT: Demonstration solar-thermochemischer Wasserspaltung auf einem Solarturm

VIDEO



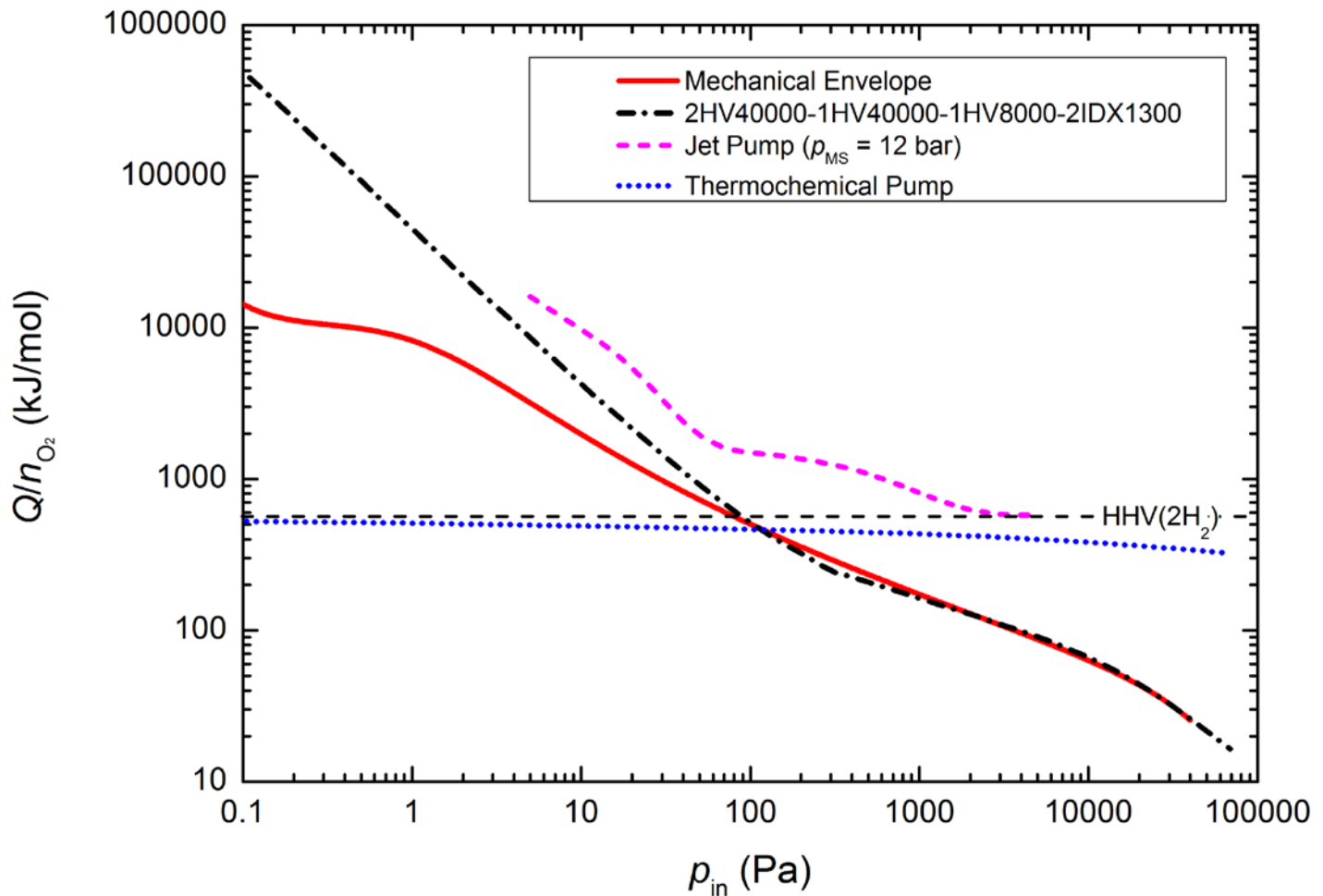
dlr_hydrosol_schnitt_v7.mp4



Thermochemische Pumpe



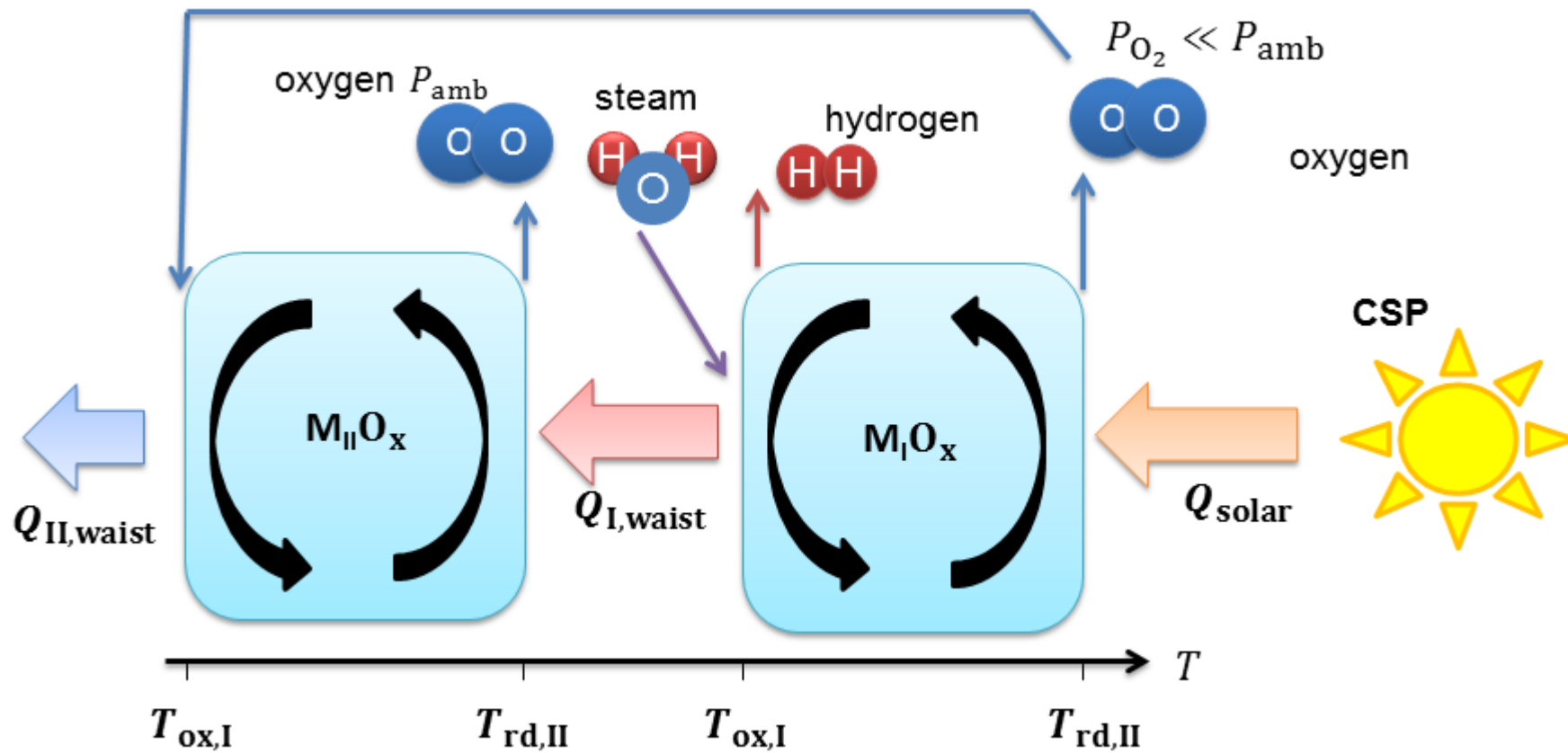
Energiebedarf Vakuumpumpen



Brendelberger et al. "Vacuum pumping options for application in solar thermochemical redox cycles—Assessment of mechanical-, jet- and thermochemical pumping systems." *Solar Energy* 141 (2017): 91-102.



Prinzip einer Thermochemischen Pumpe



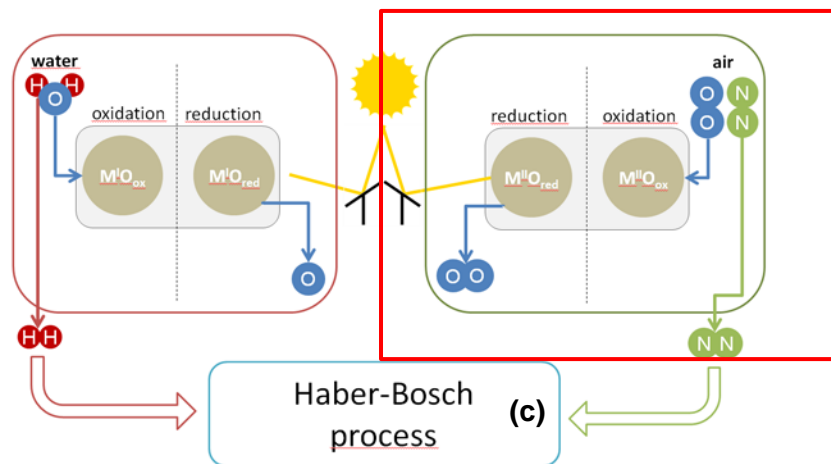
Thermochemische Ammoniak-Produktion

Principle: use solar thermal energy to

- (a) create hydrogen via water splitting
- (b) separate nitrogen from air via reversible redox reactions
- (c) synthesize ammonia via the classic Haber-Bosch route

(a) Hydrogen production

(b) Nitrogen production



Nitrogen production

- Removal of oxygen from air via a **reversible** redox reaction ('chemical looping')
- material: **multivalent metal ions**
- at **low temperatures**: oxidation, oxygen is removed
- at **high temperatures**: reduction

Vieten et al., J. Mater. Chem. A, 2016, 4, 13652.



Zusammenfassung

- Wege, die Energiewirtschaft zu dekarbonisieren, umfassen die Nutzung erneuerbarer Energiequellen, CO₂ Wiederverwertung und die Nutzung von Wasserstoff als Energieträger
- Versorgungsszenarien basierend auf Wasserstoff als Energieträger wurden bereits ausgearbeitet (Japan und EU)
- Redox-Reaktionen eröffnen eine große Bandbreite von Anwendungsszenarien im Bereich der solaren Verfahrenstechnik
- Wasserstofferzeugung mittels thermochemischer Redox-Prozesse gehen in die Erprobungs- und Demonstrationsphase
- Solare Luftzerlegung und thermochemische Pumpen mit großem Potenzial im Bereich der Dünger- und Brennstoffherstellung





Our work was co-funded by the Initiative and Networking Fund of the Helmholtz Association of German Research Centres, by the Federal State of Northrhine-Westfalia, by the European Commission, by the FCH-JU and by the US DOE (via subcontract).

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!